

**PCT**WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

<b>(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> :</b> <b>B23P 15/24, 15/26, C25D 1/10, F28F 3/04, F28D 9/00</b>	<b>A1</b>	<b>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 97/32687</b> <b>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 12. September 1997 (12.09.97)</b>
<b>(21) Internationales Aktenzeichen:</b> PCT/EP97/00840 <b>(22) Internationales Anmeldedatum:</b> 21. Februar 1997 (21.02.97) <b>(30) Prioritätsdaten:</b> 196 08 824.0      7. März 1996 (07.03.96)      DE <b>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US):</b> INSTITUT FÜR MIKROTECHNIK MAINZ GMBH [DE/DE]; Carl-Zeiss-Strasse 18-20, D-55129 Mainz (DE). <b>(72) Erfinder; und</b> <b>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US):</b> EHRFELD, Wolfgang [DE/DE]; Kehlweg 22, D-55124 Mainz (DE). WEBER, Lutz [DE/DE]; Hauptstrasse 9, D-55288 Gabsheim (DE). RICHTER, Thomas [DE/DE]; Feldbergstrasse 9a, D-55118 Mainz (DE). MICHEL, Frank [DE/DE]; Eberheimerstrasse 104, D-55268 Niederolm (DE). <b>(74) Anwalt:</b> FUCHS, LUDERSCHMIDT & PARTNER; Abraham-Lincoln-Strasse 7, D-65189 Wiesbaden (DE).	<b>(81) Bestimmungsstaaten:</b> JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  <b>Veröffentlicht</b> <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>	
<b>(54) Title: PROCESS FOR PRODUCING MICRO-HEAT EXCHANGERS</b> <b>(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON MIKROWÄRMETAUSCHERN</b> <b>(57) Abstract</b> <p>The invention relates to a process for producing micro-heat exchangers facilitating efficient heat transfer between two flowing media. In an initial step a plastic layer is structured by means of photo-lithography, X-ray lithography or laser ablation. In a second step said plastic structure is shaped by electroplating while retaining the structural properties. The metallic microstructure, the reverse of the original structure, is used as a mould insert to produce the individual layers composing the micro-heat exchanger. The process of the invention makes possible the economical production of micro-heat exchangers in large quantities.</p> <b>(57) Zusammenfassung</b> <p>Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Mikrowärmetauschern, die einen effizienten Wärmeübergang zwischen zwei strömenden Medien ermöglichen. In einem ersten Bearbeitungsschritt wird eine Kunststoffschicht mittels Fotolithographie, Röntgentiefenlithographie oder Laserablation strukturiert. Diese Kunststoffstruktur wird in einem zweiten Bearbeitungsschritt galvanisch abgeformt, wobei die Struktureigenschaften erhalten bleiben. Die dabei entstehende metallische, zur Ursprungsstruktur inverse Mikrostruktur dient als Formeinsatz zur Herstellung der Einzelschichten, aus denen der Mikrowärmetauscher zusammengesetzt wird. Das erfindungsgemässe Verfahren erlaubt es, Mikrowärmetauscher in grossen Stückzahlen kostengünstig herzustellen.</p>		

# **LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AM	Armenien	GB	Vereinigtes Königreich	MX	Mexiko
AT	Österreich	GE	Georgien	NE	Niger
AU	Australien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BB	Barbados	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BE	Belgien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BF	Burkina Faso	IE	Irland	PL	Polen
BG	Bulgarien	IT	Italien	PT	Portugal
BJ	Benin	JP	Japan	RO	Rumänien
BR	Brasilien	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
BY	Belarus	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CA	Kanada	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KR	Republik Korea	SG	Singapur
CG	Kongo	KZ	Kasachstan	SI	Slowenien
CH	Schweiz	LJ	Liechtenstein	SK	Slowakei
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
CM	Kamerun	LR	Liberia	SZ	Swasiland
CN	China	LX	Litauen	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
EE	Estland	MG	Madagaskar	UG	Uganda
ES	Spanien	ML	Mali	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	MN	Mongolei	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MR	Mauretanien	VN	Vietnam
GA	Gabon	MW	Malawi		

## Verfahren zur Herstellung von Mikrowärmetauschern

### Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Mikrowärmetauschern, bei welchem die Oberflächen von metallischen Einzelschichten strukturiert werden und die strukturierten Schichten unter Ausbildung eines Mikrostrukturkörpers mit kanalartigen Durchbrüchen übereinandergestapelt und miteinander verbunden werden.

Zur Übertragung von Wärme zwischen zwei Medien finden bei chemischen und verfahrenstechnischen Vorgängen Wärmetauscher Verwendung. Die bekannten Platten-Wärmetauscher bestehen aus einer Vielzahl von profilierten Blechen, die zu einem Blechpaket zusammengesetzt sind. Die Wanddicke der Einzelbleche beträgt aus fertigungstechnischen Gründen im allgemeinen 0.4 bis 0.8 mm. Die Blechpakete werden in einem Gestell montiert und mit mehreren Spannschrauben gegeneinander verspannt.

Die Führung der wärmeübertragenden Medien erfolgt durch vier Plattenöffnungen an den Eckpunkten der Bleche. Dabei werden abwechselnd jeweils zwei Öffnungen so gegenüber dem restlichen Strömungsraum abgedichtet, daß die Zwischenräume zwischen den Platten von den beiden Medien abwechselnd durchströmt werden. Durch das Verschließen einzelner Durchtrittsöffnungen können alle Platten oder bestimmte Plattenpakete hintereinander geschaltet werden, um eine Mehrgängigkeit zu erreichen (VDI-Wärmeatlas, 7. Auflage 1994, Ob 18, 19).

Es sind Wärmetauscher bekannt, die nach dem Gegenstromprinzip arbeiten.  
Ferner sind Wärmetauscher in Kreuzstrom-Bauweise bekannt.

Die Miniaturisierung von Wärmetauschern ermöglicht eine Vergrößerung der für Wärmeaustauschprozesse zur Verfügung stehenden Außenflächen in bezug auf das Gesamtvolumen des Medienstromes. Hierdurch werden hohe Kapazitäten bezüglich des Wärmeüberganges zwischen den Medien erreicht.

Aus DE 37 09 278 A1 ist ein Verfahren zur Herstellung von Feinstrukturkörpern wie Wärmetauschern bekannt, bei welchem in die Oberfläche zerspanbarer metallischer Folien Nuten mit über ihre Länge konstanten Querschnitt eingebracht werden und die Folien unter Ausbildung eines Mikrostrukturkörpers mit kanalartigen Durchbrechungen übereinandergeschichtet und miteinander verbunden werden. Bei dem bekannten Verfahren werden die Nuten mit Formdiamanten in die Folien eingearbeitet. Das Verfahren ist nicht zur Herstellung von Mikrostrukturen mit sehr großen Aspektverhältnissen, d.h. dem Verhältnis zwischen der Höhe der Struktur und deren lateralen Abmessungen, und Strukturen mit geringen Oberflächenrauigkeiten geeignet. Ferner ist eine freie laterale Strukturierbarkeit nicht gegeben, da sich mit den Formdiamanten nur Nuten mit über ihre Länge gleichbleibendem Querschnitt formen lassen.

DE 39 15 920 A1 beschreibt einen Mikrowärmetauscher mit zwei durch Ätzen strukturierten Schichten aus Halbleitermaterial. Als nachteilig erweist sich, daß Metalle dieser Strukturierung nicht zugänglich sind.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, das es erlaubt, Mikrowärmetauscher in großen Stückzahlen kostengünstig herzustellen.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt erfindungsgemäß mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie des Patentanspruchs 2.

In einem ersten Bearbeitungsschritt wird eine Strukturierung, die ein positives oder negatives Abbild der Strukturierung der einzelnen Schichten ist, in einen Körper eingearbeitet. Auf der Oberfläche dieses Körpers wird in einem zweiten Schritt eine galvanische Schicht abgeschieden. In einer Variante des Verfahrens wird die dabei entstehende metallische, zur Ursprungsstruktur negative Mikrostruktur als Formeinsatz verwendet. In einer zweiten Verfahrensvariante wird die dabei entstehende metallische, zur Ursprungsstruktur negative Mikrostruktur als Elektrode in einem Elektroerosionsverfahren verwendet. Hierbei wird die Strukturierung der Elektrode in eine metallische Schicht abgebildet. Die dabei entstehende zur Strukturierung der Elektrode invers strukturierte metallische Schicht wird als Formeinsatz verwendet. Im einem letzten Schritt werden mit dem nach der ersten oder der zweiten Verfahrensvariante erhaltenen Formeinsatz die Einzelschichten abgeformt, die zu dem Mikrostrukturkörper des Wärmetauschers zusammengesetzt werden.

Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, daß für die Herstellung der ersten Strukturierung und für den Formeinsatz unterschiedliche Materialien verwendet werden können. Die erste Strukturierung kann dabei beispielsweise in leicht bearbeitbarem Kunststoff erfolgen. Gemäß der ersten Verfahrensvariante kann der Formeinsatz dann in einer Hartmetall-Legierung galvanisch hergestellt werden. Gemäß der zweiten Verfahrensvariante kann die zur funkenerosiven Bearbeitung dienende Elektrode galvanisch abgeschieden werden und diese Elektrode dann in eine Hartmetall-Legierung abgebildet werden.

Der Vorteil der galvanischen Abformung besteht darin, daß die Eigenschaften der Ausgangsstruktur, wie Dimension, Genauigkeit und Oberflächenrauigkeit erhalten bleiben. Eine hohe Genauigkeit der Dimension ist von Vorteil, weil

dadurch Kanäle mit sehr kleinen Abmessungen, d.h. ein hohes Oberflächen/Volumen-Verhältnis, möglich sind. Außerdem kann die Dicke der Wände zwischen den Kanälen erheblich reduziert werden, wodurch eine hohe Wärmeübertragungsrate gewährleistet ist. Dies ist insbesondere bei Mikrowärmetauschern wichtig, bei welchen der Wärmeübergang innerhalb der Einzelschichten stattfindet. Eine kleine Oberflächenrauigkeit und hohe Strukturgenauigkeit ist von Vorteil, weil dadurch insbesondere in kleinen Kanälen der Strömungswiderstand reduziert wird.

Die zweite Verfahrensvariante ist insofern von Vorteil, als sich mit dem Elektroerosionsverfahren harte Metallprägestempel z.B. zum Prägen von Aluminium, erzeugen lassen, die eine hohe Standzeit aufweisen, da der Verschleiß des aus Hartmetall gefertigten Stempels gering ist.

Verhältnismäßig einfach läßt sich die Strukturierung in einem Kunststoffkörper oder der Kunststoffschicht eines kunststoffbeschichteten Körpers einarbeiten. Es ist aber prinzipiell auch möglich, die Strukturierung in einen Metallkörper einzuarbeiten. Die Dicke des Kunststoffkörpers bzw. die Stärke der Kunststoffschicht hängen von den Strukturierungsverfahren ab.

Wenn nur geringe Strukturhöhen bis etwa 100  $\mu\text{m}$  geschaffen werden sollen und/oder geringere Anforderungen an die Genauigkeit gestellt werden, wird der Körper durch ein fotolithographisches Verfahren strukturiert. Bei dem bekannten fotolithographischen Verfahren wird der Körper mit einem Fotolack beschichtet und auf den Körper eine Maske aufgelegt. Anschließend wird der Fotolack mit UV-Strahlung belichtet. Die physikalischen und chemischen Veränderungen im Fotolack erlauben eine selektive Entwicklung und somit die Ausbildung der Strukturierung in dem Körper.

Die Strukturierung kann in dem Körper aber auch durch ein röntgentiefenlithographisches Verfahren eingearbeitet werden. Bei dem

bekannten röntgentiefenlithographischen Verfahren wird ein Röntgenresist mit Röntgenstrahlung belichtet. Die Veränderungen im Röntgenresist bleiben dabei aufgrund der hohen Parallelität der Röntgenstrahlung und der aufgrund der kleinen Wellenlänge geringeren Beugung an der Maske auf einen exakten Bereich beschränkt und erlauben somit eine im Vergleich zur Fotolithographie selektivere Entwicklung. Die dadurch geschaffene Struktur besitzt neben einer hohen Genauigkeit im Sub-Mikrometerbereich ebenfalls eine im Vergleich zu spanenden Bearbeitungsverfahren deutlich geringere Oberflächenrauigkeit. Es lassen sich relativ große Strukturhöhen bis einige Millimeter erzielen. Somit können schmale Wände bei gleichzeitig breiten Kanälen geschaffen werden.

Eine dreidimensionale Mikrostrukturierung, d.h. die Ausbildung von Vertiefungen sowohl unterschiedlicher Breite als auch unterschiedlicher Tiefe, kann durch Bearbeiten des Körpers mit Laserstrahlen erfolgen. Ein Entwicklungsschritt wie bei dem fotolithographischen bzw. röntgentiefenlithographischen Verfahren ist bei der Laserablation nicht erforderlich.

Wenn die Strukturierung in die Oberfläche eines Kunststoffkörpers eingearbeitet wird, muß die Oberfläche des Kunststoffkörpers vor dem Abscheiden der galvanischen Schicht metallisiert werden. Die Metallisierung kann durch Hochvakuumaufdampfen erfolgen.

Vorzugsweise ist der Körper ein mit einer metallischen Schicht und einer Kunststoffdeckschicht versehenes Substrat, wobei die Strukturierung in die Kunststoffschicht derart eingearbeitet wird, daß die Metallschicht am Grund der Vertiefungen freiliegt. Auf der freigelegten Metallschicht in den Vertiefungen kann die galvanische Schicht dann abgeschieden werden. Nach dem Ausfüllen der Vertiefungen wird die Oberfläche des Körpers metallisiert und auf die Oberfläche des Körpers wird eine galvanische Deckschicht abgeschieden. Nach der ersten Verfahrensvariante wird der so erhaltene

galvanisch abgeschiedene Körper als Formeinsatz verwendet. Gemäß der zweiten Verfahrensvariante dient der galvanisch abgeschiedene Körper als Elektrode in einem Funkenerosionsverfahren zur Strukturierung vorzugsweise eines Hartmetall-Körpers. Der so strukturierte Körper wird als Formeinsatz verwendet.

Die Abformung der Einzelschichten erfolgt vorzugsweise durch Metallpulverspritzgießen. Bei dem bekannten Metallpulverspritzgießverfahren (Powder Injection Molding PIM) wird der Formeinsatz auf einer Spritzgießmaschine mit einem in einer Polymermatrix eingebetteten Metallpulver gefüllt und nach Erreichen der Formteilstabilität entformt. Die Partikelgröße des Metallpulvers sollte unter 1  $\mu\text{m}$  liegen, um Strukturen mit einer großen Genauigkeit zu erhalten. Das dabei entstehende sogenannte Grünteil wird anschließend entbindert, d.h. die Polymermatrix wird entfernt, und gesintert, wodurch ein vollständig metallisches Teil geschaffen wird, das die Einzelschicht bildet. Die Einzelschichten werden übereinandergestapelt und durch Kleben, Diffusionsschweißen, Laserschweißen oder Sintern miteinander verbunden. Die Einzelschichten können aber auch miteinander verschraubt oder verklemmt werden.

Alternativ können mittels des Formeinsatzes die Einzelschichten bildende metallische Materialien geprägt werden. Dabei wird vorzugsweise ein in einer Polymermatrix eingebettetes Metallpulver als Prägegut verwendet, wobei der Formeinsatz als Preßstempel dient. Nach Erwärmen des Prägegutes wird der Formeinsatz in das Prägegut gepreßt und nach Erreichen der Formstabilität durch Abkühlen wieder entfernt. In Analogie zum Metallpulverspritzgießen erfolgt die Herstellung des vollständig metallischen Teils durch Entbinder- und Sinterprozesse.

Ferner ist es möglich, den Formeinsatz erneut galvanisch abzuformen.



Um Einzelschichten zu schaffen, die sowohl an ihrer Ober- als auch Unterseite strukturiert sind, wird eine metallische Folie zwischen zwei gegeneinander gepreßten Formeinsätzen plastisch verformt.

Im folgenden wird das erfindungsgemäße Verfahren unter Bezugnahme auf die Figuren näher erläutert.

Es zeigen:

- Fig. 1        eine Prinzipskizze eines nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Mikrowärmetauschers in Gegenstrombauweise.
- Fig. 2        einen Schnitt durch den Wärmetauscher quer zur Strömungsrichtung.
- Fig. 3        eine der beiden spiegelbildlich strukturierten Einzelschichten in der Draufsicht.
- Fig. 4        die andere der beiden spiegelbildlich strukturierten Einzelschichten in der Draufsicht.
- Fig. 5        die beiden übereinanderliegenden Schichten zur Darstellung der für den Wärmeübergang aktiven Fläche.
- Fig. 6        einen Schnitt durch den strukturierten Körper vor dem Abscheiden der galvanischen Schicht.
- Fig. 7        einen Schnitt durch den strukturierten Körper, wobei eine galvanische Schicht auf die freigelegten Bereiche der Metallschicht abgeschieden wird.

- Fig. 8 einen Schnitt durch den strukturierten Körper, wobei die Oberfläche der Kunststoffdeckschicht des strukturierten Körpers metallisiert wird,
- Fig. 9 einen Schnitt durch den strukturierten Körper, wobei auf die Oberfläche des Körpers eine galvanische Schicht aufgebracht wird,
- Fig. 10 den Schritt der Abformung des Formeinsatzes zur Herstellung der Einzelschicht,
- Fig. 11 den durch galvanische Abscheidung erhaltenen Körper sowie den mittels eines elektroerosiven Verfahrens zu bearbeitenden Körper,
- Fig. 12 den mittels eines elektroerosiven Verfahrens erhaltenen Körper,
- Fig. 13 den Schritt des Prägens einer metallischen Schicht mittels eines durch ein elektroerosives Verfahren erhaltenen Prägestempels,
- Fig. 14 den Abformungsprozeß, bei dem eine metallische Folie zwischen zwei Formeinsätzen plastisch verformt wird,
- Fig. 15 einen Schnitt durch einen Mikrowärmetauscher mit Einzelschichten, die sowohl an ihrer Oberseite als auch an ihrer Unterseite strukturiert sind, und
- Fig. 16 eine mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte Einzelschicht für einen Mikrowärmetauscher für Gase.

Fig. 1 zeigt eine Prinzipskizze eines nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Mikrowärmetauschers in Gegenstrombauweise und Fig. 2 zeigt einen Schnitt durch den Wärmetauscher quer zur Strömungsrichtung. Der Wärmetauscher besteht aus stapelweise übereinander angeordneten Einzelschichten 1, 2, die mit einer Abdeckplatte 3 mit Fluidanschlüssen a, a': b, b' abgeschlossen sind. Die jeweils übereinanderliegenden Einzelschichten 1, 2 sind zueinander spiegelbildlich strukturiert.

Fig. 3 zeigt eine der beiden Einzelschichten 1, die durch längslaufende Nuten 4 strukturiert sind in der Draufsicht. Das Fluid A tritt durch Bohrungen 5, 5' an den schräg gegenüberliegenden Eckpunkten oben links bzw. unten rechts in die strukturierte Schicht ein bzw. aus und verteilt sich in den Fluidkanälen, die durch schmale Stege 6 voneinander getrennt sind und sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren lateral beliebig ausbilden lassen. Das Fluid B wird durch Bohrungen an den anderen schräg gegenüberliegenden Eckpunkten 7, 7' von der über der betrachteten Schicht liegenden Schicht in die darunterliegende Schicht geleitet. Weitere Bohrungen 8, 8' in dem Seitenbereich der Schicht 1 dienen als Führung für Fixierungsstifte zum Ausrichten der einzelnen Schichten zueinander. Fig. 4 zeigt die andere der beiden spiegelbildlich strukturierten Einzelschichten 2 in der Draufsicht. Fluid B tritt durch Bohrungen 7, 7' an den schräg gegenüberliegenden Eckpunkten oben rechts bzw. unten links in die strukturierte Schicht ein bzw. aus und verteilt sich in den durch schmale Stege 6 voneinander getrennten Fluidkanälen 4. Das Fluid A strömt über die in der Abdeckplatte 3 vorgesehenen Fluidanschlüsse a, a' und das Fluid B strömt über die Fluidanschlüsse b, b' in den Wärmetauscher. In den Einzelschichten 1, 2 werden die Fluide parallel so verteilt, daß diese an jeder Stelle im Gegenstrom zueinandergeführt werden. Bei dem Gegenstrom-Wärmetauscher liegen die Stegstrukturen, die die einzelnen Fluidkanäle bilden, direkt übereinander.

Die für die Wärmeübertragung aktive Fläche zeigt Fig. 5. Die Wärmeübertragung erfolgt in den Bereichen der Strukturierung 9, 9', die einander überlappen.

Um die Einzelschichten 1, 2 in größeren Stückzahlen herstellen zu können, wird zunächst eine der herzustellenden Einzelschicht entsprechende Strukturierung in einen plattenförmigen Körper 10 eingearbeitet. Fig. 6 zeigt den Körper in Form eines Substrates 11 mit einer dünnen Metallschicht 12 und einer Kunststoffdeckschicht 13, in die die Strukturierung mittels eines fotolithographischen Verfahrens oder mittels Laserablation eingearbeitet ist. Die Kunststoffschicht 13 wird während des Verfahrensschrittes derart stellenweise abgetragen, daß die Metallschicht freigelegt wird.

Der Schritt des Abscheidens einer galvanischen Schicht 14' auf die Metallschicht in den längslaufenden Nuten 4 ist in Fig. 7 dargestellt. Das Material wird so lange abgeschieden, bis die Nuten vollständig ausgefüllt sind. Anschließend wird die Oberfläche der Kunststoffdeckschicht des strukturierten Körpers durch Hochvakuumverdampfen metallisiert. Die Metallschicht ist in Fig. 8 mit dem Bezugszeichen 15 versehen.

Auf der Metallschicht 15 wird wieder eine galvanische Schicht 14'' abgeschieden, so daß der strukturierte Körper 10 vollständig abgeformt wird (Fig. 9). Für den Fall, daß die Strukturierung in einen Körper eingearbeitet wird, der keine Metallschicht aufweist, wird unmittelbar nach dem fotolithographischen bzw. röntgentiefenlithographischen Prozeß oder der Laserablation eine galvanische Schicht auf der Oberfläche des Körpers abgeschieden.

Der gewonnene Formeinsatz 14 erlaubt es nun, eine große Anzahl von Einzelschichten in einem Abformungsprozeß herzustellen. Fig. 10 zeigt einen Schnitt durch das im Metallpulverspritzgießverfahren hergestellte Formteil 16,

das ein negatives Abbild des Formeinsatzes ist und somit der Einzelschicht entspricht. Nach dem Entfernen der Polymermatrix (Entbindern) und Sintern können in dem Formteil 16 die Bohrungen für die Führung des Mediums und die Aufnahme der Fixierungsstifte angelegt werden.

Gemäß der zweiten Verfahrensvariante dient der galvanisch abgeschiedene Körper 14 als Elektrode in einem funkenerosiven Verfahren, bei dem der Gesenkwerkstoff durch aufeinanderfolgende, zeitlich getrennte, nicht stationäre Entladungen in einer dielektrischen Flüssigkeit abgetragen wird. Fig. 11 zeigt den galvanisch abgeschiedenen Körper 14 sowie den mittels des funkenerosiven Verfahrens zu bearbeitenden Körper 21.

In Fig. 12 wird der nach der funkenerosiven Bearbeitung erhaltene Körper 21' gezeigt.

Der erhaltene Formeinsatz 21' kann zum Prägen von metallischen Schichten 22 verwendet werden, die als Einzelschichten von Mikrowärmetauschern Verwendung finden. In Fig. 13 ist der Schritt des Prägens eines metallischen Körpers 22 mit Hilfe des Formeinsatzes 21' gezeigt.

Fig. 14 zeigt den Schritt des plastischen Verformens einer metallischen Folie 17 zwischen zwei Formeinsätzen. Bei dieser Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens werden zwei komplementäre Formeinsätze 18, 18' mit einer Strukturierung, beispielsweise in Form von längslaufenden Nuten hergestellt. Die metallische Folie 17 wird während des Prägeprozesses zwischen die Formeinsätze gelegt und wird unter Einwirkung einer Preßkraft ähnlich dem Tiefziehen verformt. Die Metallfolie 17, die die Einzelschicht bildet, ist nach diesem Strukturierungsschritt formstabil. Sie bildet eine Einzelschicht, die sowohl an ihrer Oberseite als auch an ihrer Unterseite strukturiert ist.

Einzelsschichten, die sowohl an ihrer Oberseite als auch an ihrer Unterseite strukturiert sind, lassen sich zu Wärmetauschern zusammensetzen, die hohen thermischen Anforderungen genügen. Fig. 15 zeigt einen Schnitt durch einen Wärmetauscher in schematischer Darstellung, der mehrere übereinandergestapelte Einzelsschichten 19 mit einer mäanderförmigen Strukturierung aufweist, die mit einer oberen und unteren Schicht 20, 20' mit Fluidanschlüssen abgedeckt sind. Zur Intensivierung des Wärmeüberganges werden neben der Ober- und Unterseite eines jeweiligen Fluidkanals auch die Seitenflächen abwechselnd von beiden Fluiden umspült, wodurch die für den Wärmeübergang aktive Fläche verdoppelt wird. Die Stegstrukturen sowie die Fluidkanäle sind direkt übereinander angeordnet. In Fig. 15 sind die von dem Fluid A durchströmten Kanäle mit dem Bezugszeichen A und die von dem Fluid B im Gegenstrom durchströmten Kanäle mit dem Bezugszeichen B versehen.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich Strukturierungen unterschiedlicher Ausbildung für Wärmetauscher in einer Dimension  $\leq 10 \mu\text{m}$  und einem Verhältnis zwischen der Höhe der Struktur und deren lateralen Abmessungen bis zu 100 bei hoher Genauigkeit schaffen. So ist es z.B. auch möglich Mikrowärmetauscher für Gase in großen Stückzahlen herzustellen, deren Einzelsschichten die in Fig. 16 gezeigten Stegstrukturen 21 aufweisen, die lateral gebrochen und seitlich versetzt sind.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Wärmetauschern, bei welchem die Oberflächen von metallischen Einzelschichten strukturiert werden und die strukturierten Schichten unter Ausbildung eines Mikrostrukturkörpers mit kanalartigen Durchbrüchen übereinandergestapelt und miteinander verbunden werden, **dadurch gekennzeichnet**,

daß eine der Strukturierung der Einzelschichten entsprechende Strukturierung in die Oberfläche eines Körpers eingearbeitet wird,

daß eine galvanische Schicht auf die Oberfläche des strukturierten Körpers unter Ausbildung eines Formeinsatzes abgeschieden wird und

daß der Formeinsatz zur Ausbildung der Einzelschichten abgeformt wird.

2. Verfahren zur Herstellung von Wärmetauschern, bei welchem die Oberflächen von metallischen Einzelschichten strukturiert werden und die strukturierten Schichten unter Ausbildung eines Mikrostrukturkörpers mit kanalartigen Durchbrüchen übereinandergestapelt und miteinander verbunden werden, **dadurch gekennzeichnet**,

daß eine zu der Strukturierung der Einzelschichten inverse Strukturierung in die Oberfläche eines Körpers eingearbeitet wird,

daß eine galvanische Schicht auf die Oberfläche des strukturierten Körpers unter Ausbildung einer metallischen zur ursprünglichen Strukturierung invers strukturierten Schicht abgebildet wird.

daß die so strukturierte metallische Schicht als Elektrode dienend mittels eines Elektroerosionsverfahrens in eine metallische Schicht unter Ausbildung einer zur strukturierten Oberfläche der Elektrode invers strukturierten Formeinsatzes abgebildet wird und

daß der Formeinsatz zur Ausbildung der Einzelschichten abgeformt wird.

3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Strukturierung in die Oberfläche eines Kunststoffkörpers oder in die Kunststoffschicht eines kunststoffbeschichteten Körpers eingearbeitet wird.
4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Strukturierung in die Kunststoffschicht eines mit einer metallischen Schicht und einer Kunststoffdeckschicht versehenen Substrats oder eines mit einer Kunststoffdeckschicht versehenen metallischen Substrats derart eingearbeitet wird, daß die metallische Schicht bzw. das metallische Substrat freigelegt wird.
5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Strukturierung in den Körper durch ein fotolithographisches Verfahren eingearbeitet wird, wobei der zu strukturierende Körper mit einem Fotolack beschichtet, eine Maske auf den Körper aufgelegt und der Körper mit UV-Strahlung belichtet wird und anschließend unter Ausbildung der Strukturierung entwickelt wird.



6. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Strukturierung in den Körper durch ein röntgentiefenlithographisches Verfahren eingearbeitet wird, wobei der zu strukturierende Körper mit einem Röntgenresist beschichtet, eine Maske auf den Körper aufgelegt wird und der Körper mit Röntgenstrahlung belichtet und anschließend unter Ausbildung der Strukturierung entwickelt wird.
7. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Strukturierung in den Körper durch Bearbeiten des Körpers mit Laserstrahlen eingearbeitet wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Kunststoffkörper vor dem Abscheiden der galvanischen Schicht, vorzugsweise mittels Hochvakuumaufdampfung, metallisiert wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß auf die strukturierte Oberfläche des Formeinsatzes die die Einzelschichten bildende Spritzschicht durch Metallpulverspritzen aufgebracht wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß mittels des Formeinsatzes die Einzelschichten bildende metallische Materialien geprägt werden.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Formeinsatz in ein Prägegut bestehend auf einem in einer Polymermatrix eingebetteten Metallpulver gepreßt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine metallische Folie zwischen zwei Formeinsätzen plastisch verformt wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß die übereinandergestapelten Einzelschichten miteinander verklebt werden.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß die übereinandergestapelten Einzelschichten durch Diffusions- oder Laserschweißen miteinander verbunden werden.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß die übereinandergestapelten Einzelschichten durch Sintern miteinander verbunden werden.

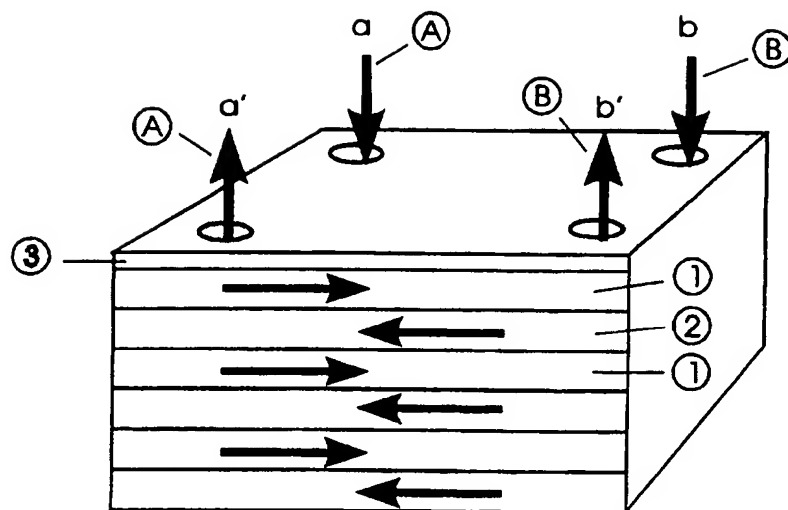


Fig. 1

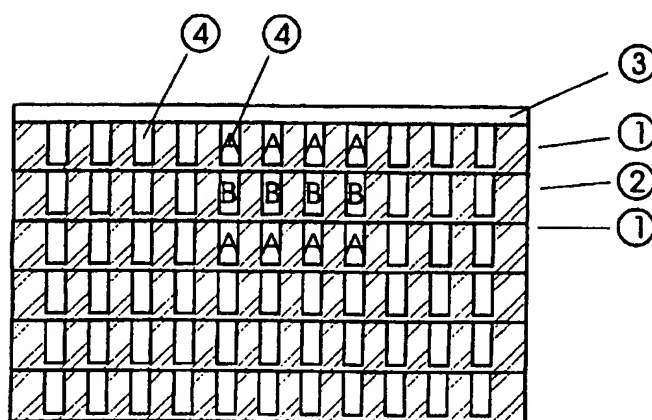
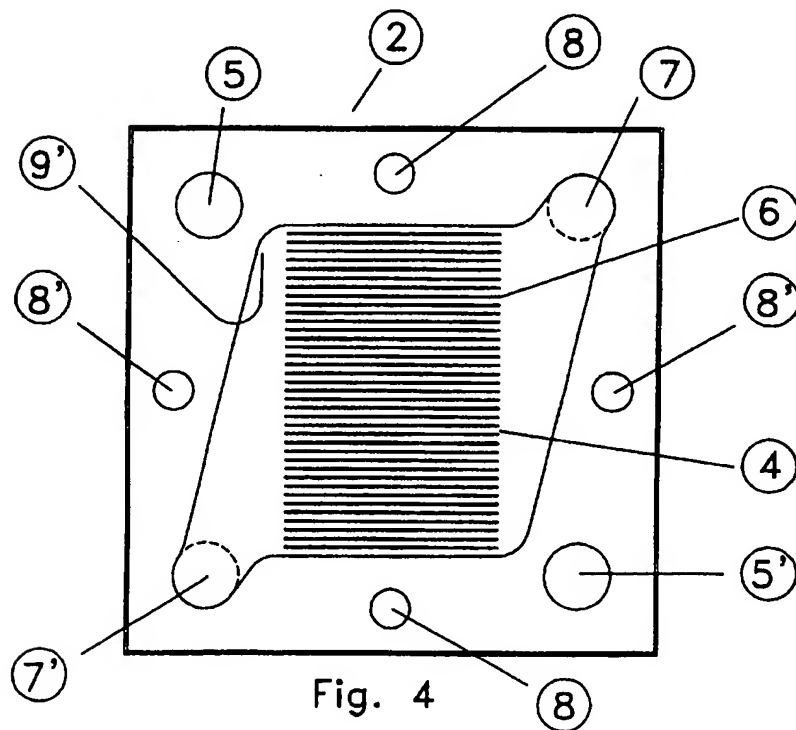
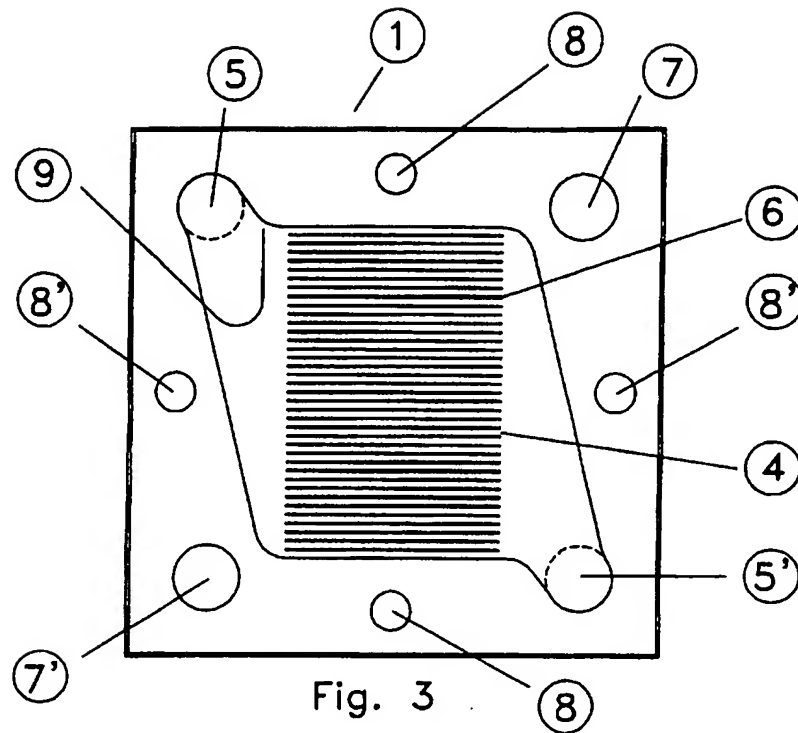
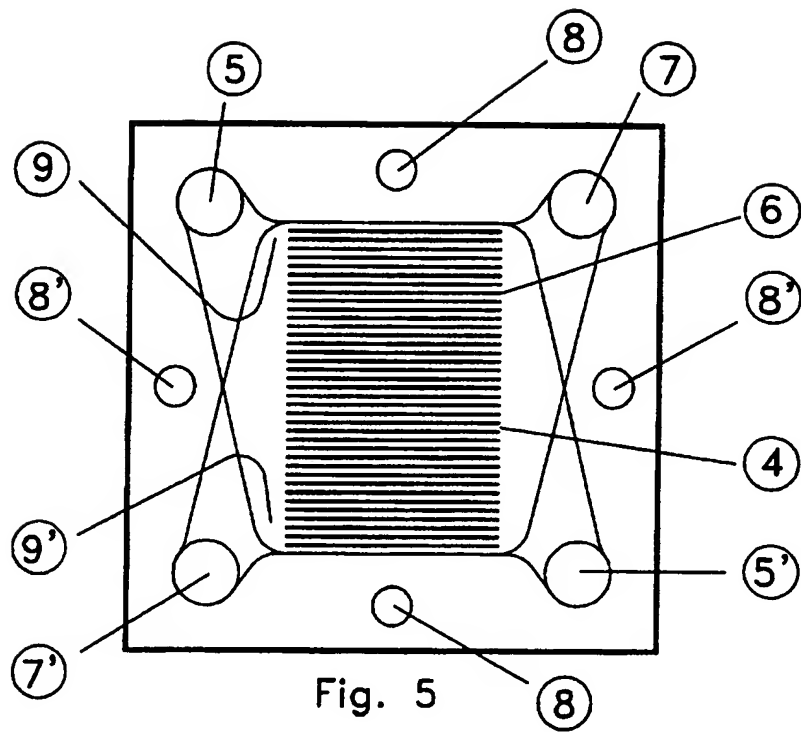


Fig. 2





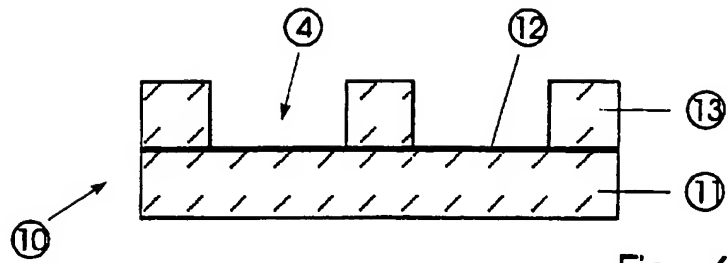


Fig. 6

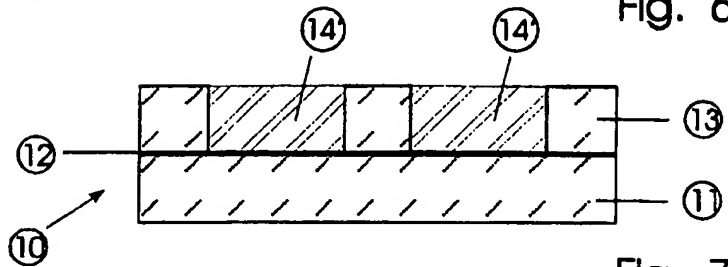


Fig. 7

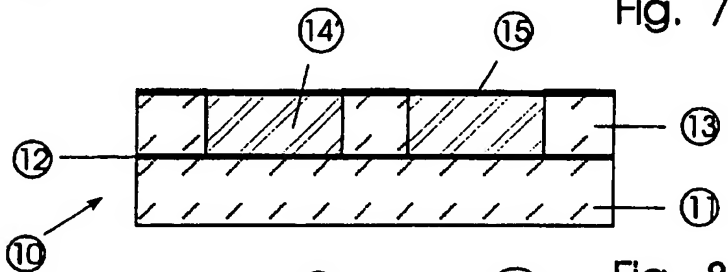


Fig. 8

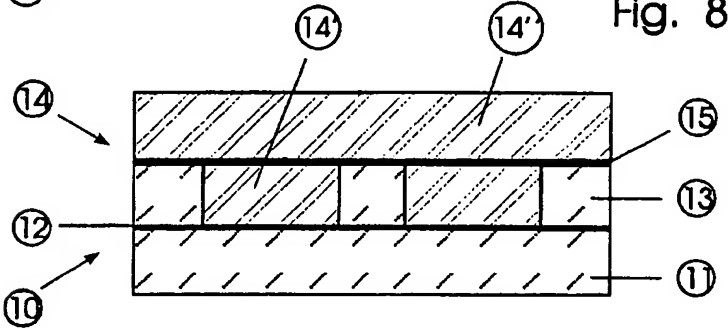


Fig. 9

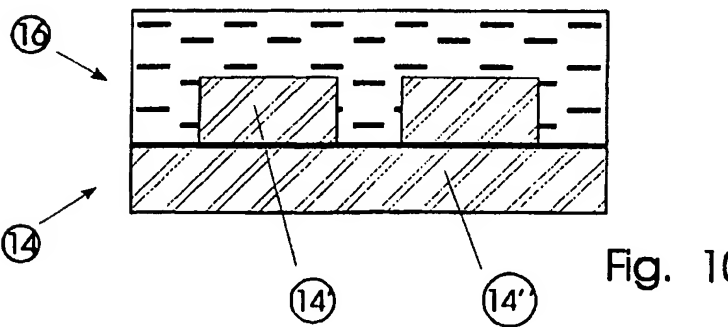


Fig. 10

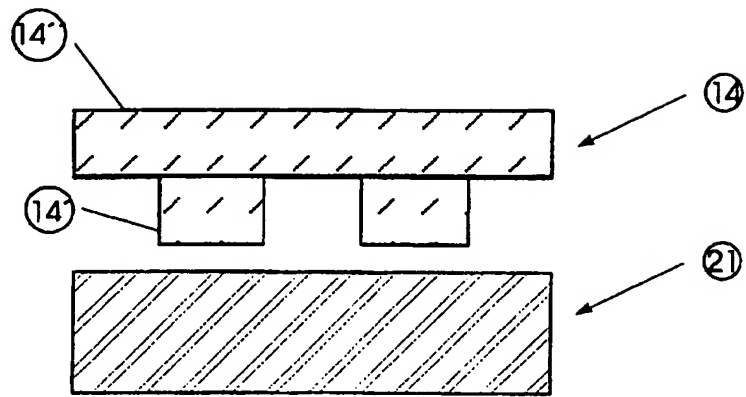


Fig. 11

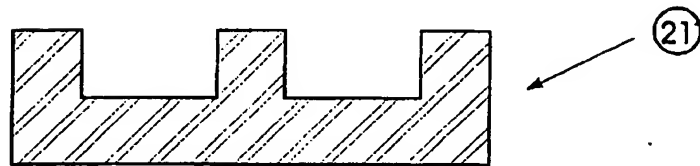


Fig. 12

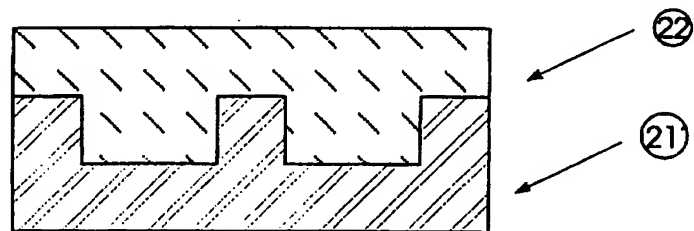


Fig. 13

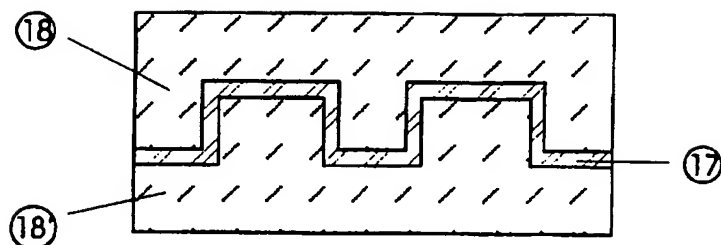


Fig. 14

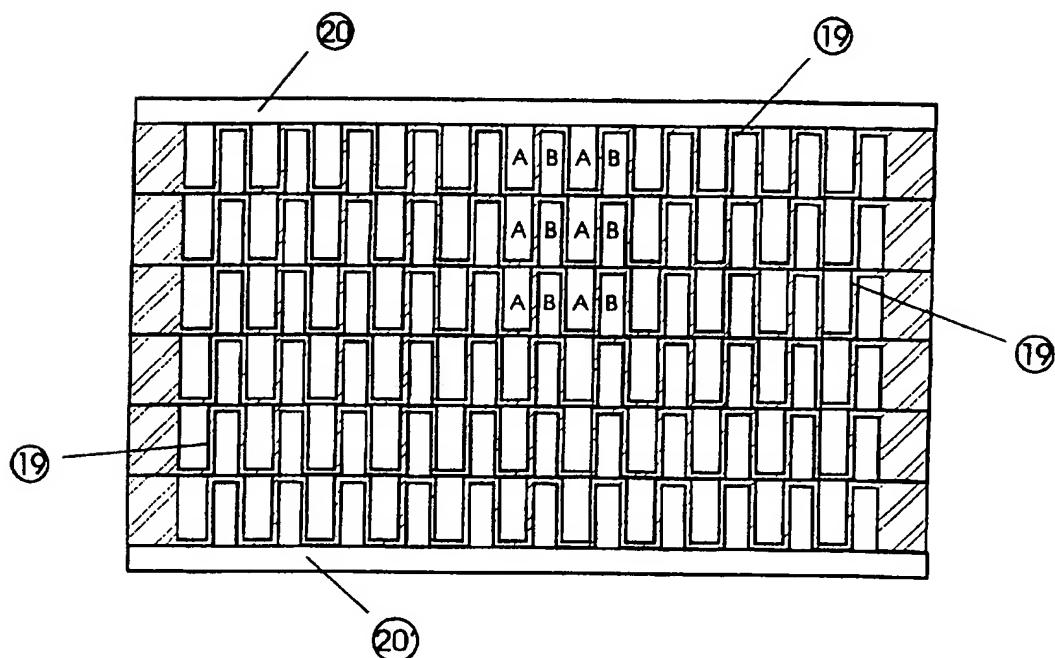
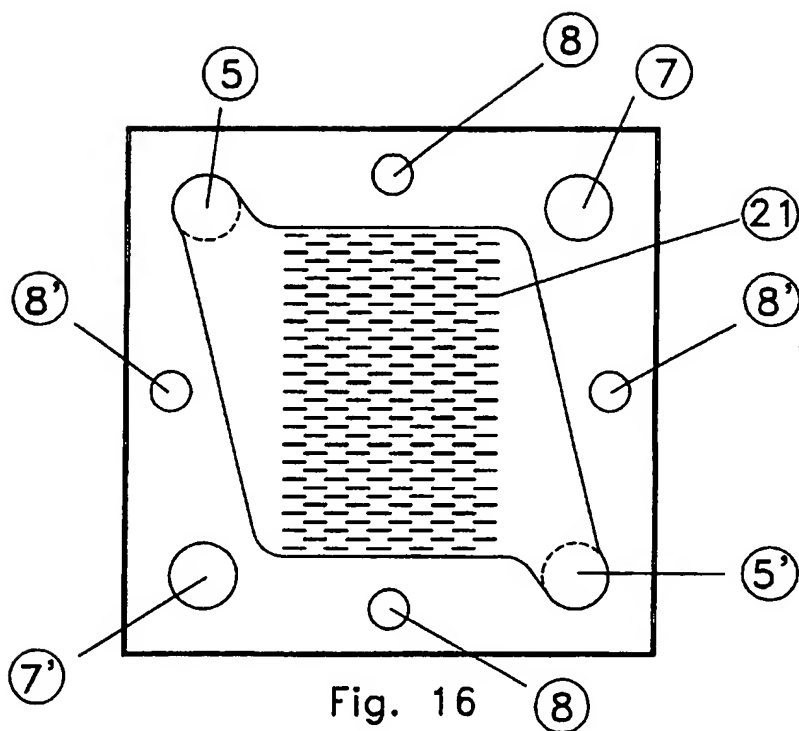


Fig. 15





# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No  
PCT/EP 97/00840

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 6 B23P15/24 B23P15/26 C25D1/10 F28F3/04 F28D9/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 6 B23P C25D F28F F28D B21D B01D G03F B29C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 055 163 A (BIER ET AL) 8 October 1991 see abstract; claims; figures see column 1, line 16 - column 2, line 2 ---	1-6,8
A	DE 37 09 278 A (KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GMBH) 29 September 1988 cited in the application see abstract; claims; figures ---	1,7, 13-15
A	WO 94 06952 A (KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GMBH ET AL) 31 March 1994 see the whole document ---	1,3-5
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 12, no. 160 (M-697), 14 May 1988 & JP 62 277224 A (MIKI PUURII KK) see abstract --- -/-	2

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 May 1997

Date of mailing of the international search report

03.06.97

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+ 31-70) 340-3016

Authorized officer

Plastiras, D

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP 97/00840

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 677 710 A (TEKTRONIX, INC ) 18 October 1995 see column 3, line 8 - line 24 see abstract; figures 1A-1D,3 see column 4, line 50 - column 5, line 39 ---	1
A	DE 43 07 869 A (MICROPARTS GESELLSCHAFT FÜR MIKROSTRUKTURTECHNIK) 15 September 1994 see claims; figures ---	1,3-6
A	US 4 392 362 A (LITTLE) 12 July 1983 see claims; figures -----	1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

In .sional Application No

PCT/EP 97/00840

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5055163 A	08-10-91	DE 3842610 C EP 0374441 A JP 2194189 A	21-06-90 27-06-90 31-07-90
DE 3709278 A	29-09-88	WO 8806941 A EP 0391895 A JP 3500861 T US 5152060 A US 5249359 A	22-09-88 17-10-90 28-02-91 06-10-92 05-10-93
WO 9406952 A	31-03-94	DE 4231742 A AT 137277 T DE 59302391 D EP 0662163 A US 5512161 A	24-03-94 15-05-96 30-05-96 12-07-95 30-04-96
EP 677710 A	18-10-95	US 5561984 A JP 7297457 A	08-10-96 10-11-95
DE 4307869 A	15-09-94	EP 0620092 A JP 6320550 A US 5501784 A	19-10-94 22-11-94 26-03-96
US 4392362 A	12-07-83	CA 1170851 A DE 3215396 A FR 2505036 A GB 2099565 A,B NL 8201786 A SE 446122 B SE 8202630 A DE 3010962 A GB 2045910 A JP 55158450 A	17-07-84 27-01-83 05-11-82 08-12-82 01-12-82 11-08-86 05-09-83 09-10-80 05-11-80 09-12-80

PCT/EP 97/00840

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 97/00840

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 12, no. 160 (M-697), 14.Mai 1988 & JP 62 277224 A (MIKI PUURII KK) siehe Zusammenfassung ---	2
A	EP 0 677 710 A (TEKTRONIX, INC ) 18.Oktober 1995 siehe Spalte 3, Zeile 8 - Zeile 24 siehe Zusammenfassung; Abbildungen 1A-1D,3 siehe Spalte 4, Zeile 50 - Spalte 5, Zeile 39 ---	1
A	DE 43 07 869 A (MICROPARTS GESELLSCHAFT FÜR MIKROSTRUKTURTECHNIK) 15.September 1994 siehe Ansprüche; Abbildungen ---	1,3-6
A	US 4 392 362 A (LITTLE) 12.Juli 1983 siehe Ansprüche; Abbildungen -----	1

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 97/00840

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5055163 A	08-10-91	DE 3842610 C EP 0374441 A JP 2194189 A	21-06-90 27-06-90 31-07-90
DE 3709278 A	29-09-88	WO 8806941 A EP 0391895 A JP 3500861 T US 5152060 A US 5249359 A	22-09-88 17-10-90 28-02-91 06-10-92 05-10-93
WO 9406952 A	31-03-94	DE 4231742 A AT 137277 T DE 59302391 D EP 0662163 A US 5512161 A	24-03-94 15-05-96 30-05-96 12-07-95 30-04-96
EP 677710 A	18-10-95	US 5561984 A JP 7297457 A	08-10-96 10-11-95
DE 4307869 A	15-09-94	EP 0620092 A JP 6320550 A US 5501784 A	19-10-94 22-11-94 26-03-96
US 4392362 A	12-07-83	CA 1170851 A DE 3215396 A FR 2505036 A GB 2099565 A,B NL 8201786 A SE 446122 B SE 8202630 A DE 3010962 A GB 2045910 A JP 55158450 A	17-07-84 27-01-83 05-11-82 08-12-82 01-12-82 11-08-86 05-09-83 09-10-80 05-11-80 09-12-80